Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 12, No. 2, Summer 2022, p. 147-157

Investigation of the Co-digestion of Chicken Manure with Chicken Intestine and Its Contents and Rumen Contents

A. Mirzaee[1], M. Soleymani[2*], H. Bahrami[3], M. Norouzi Masir[4]

1- Former M.Sc student, Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3- Associated Professor, Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
4- Assistant Professor, Department of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: m.soleymani@scu.ac.ir)

Received: 17-07-2019 Revised: 09-10-2019 Accepted: 17-12-2019	**How to cite this article:** Mirzaee, A., M. Soleymani, H. Bahrami, and M. Norouzi Masir. 2022. Investigation of the Co-digestion of Chicken Manure with Chicken Intestine and Its Contents and Rumen Contents. Journal of Agricultural Machinery 12 (2): 147-157. (In Persian). DOI: 10.22067/jam.v12i2.82016

Introduction: Almost 18 percent of emitted greenhouse gasses in Iran come from livestock industries, especially from manure decomposition. With the anaerobic digestion of animal wastes, in addition to eliminating its disadvantages, biogas as a clean and renewable energy carrier is produced. In addition, the resulting sludge is a more healthy and nutritious fertilizer for use in agriculture. One of the challenges of the bio-gas industry is to increase gas production efficiency. Various approaches are proposed to enhance manure digestion efficiency and increase biogas production, which can be mentioned below: Changing operating parameters such as temperature, hydraulic retention time (HRT), and particle size of the substrate; adding some effective additives; returning the resulting sludge into the digestion process and using bio-filters. Therefore in this study, in order to increase biogas production from poultry manure, two methods (co-digestion with rumen contents, and chicken intestine and its contents, and returning the slurry into the reactor) were tested. The alkaline composition of chicken manure and its high content of ammonia makes it difficult to digest alone, and co-digestion with high-carbon organic matter improves its digestibility.

Materials and Methods: Polyethylene bottles were used as batch reactor units. In order to the possibility of gas exit, as well as taking samples of the digester, two valves were placed on the bottle cap. All digesters were placed in a hot water bath and a 700 watts electric heater and a thermostat were used respectively to supply heat and to keep the temperature constant. A U-shaped tube, connected to the reactor output pipe was used to measure the amount of produced gas. The volume of water removed from the tube was an indicator of produced gas. The experiment was carried out in two stages. In the first stage 21 reactors were used according to the design of the experiment which was a completely randomized design with 7 treatments (adding rumen fluid in three levels (10, 20, and 30 percent of chicken manure (weight basis), respectively), adding chicken intestines and its content in three levels (10, 20, and 30 percent of chicken manure (weight basis), respectively), and control treatment), and three replicates of each treatment. During the whole experiment period, the pH and temperature were kept constant, respectively between 7.2-8.2 and 40-35 °C (mesophilic range). In the second stage of the experiment, after all the treatments reached the end of their hydraulic retention time, the resulting sludge was filtered and the liquid part was returned to the cycle. Three treatments were also provided here (supplying 50% of the water required by sludge liquid, supplying 100% of the water required by sludge liquid, and control treatment (no liquefied sludge).

Results and Discussion: Based on the results, although the type of organic supplementation had a significant effect on the amount of biogas production, the quantity of them had not. Treatments of chicken manure + 20%, 30%, and 10% of chicken intestines resulted in the highest amount of biogas production, respectively. But these three treatments were not significantly different. Also, the co-digestion of chicken manure with chicken intestines was more effective than the co-digestion of chicken manure with rumen fluid. The return of sludge, resulted from anaerobic digestion of chicken manure, again into the cycle, in addition to enhancing the amount of produced gas, can reduce the waiting time to start gas production by at least six days (in the treatment of providing 100% of required water from returned sludge). This can lead to continuous gas production and availability of sufficient gas in commercial gas-producing units. The effect of treatments on the time of reaching the cumulative gas production index to 100 mm was significant (α= 5%) and treatment of S_{100} reduced this duration by approximately 17 days (65%) and S_{50}, for approximately 16 days (74%).

Conclusion: According to the results of this study, co-digestion of chicken manure with cow rumen fluid did not have a significant effect on the increase of biogas production, but co-digestion of chicken manure with chicken intestine and its contents (at least by 20% of chicken manure (weight basis)) can have a significant effect on the increase in the production of biogas and can increase the amount of gas at least twice. The highest amount of gas volume was about 305 $Ml.gr^{-1}$ VS_{added} and came from the treatment of co-digestion of chicken manure with 20% (weight base) chicken intestine and its contents. The return of the resulting sludge of anaerobic digestion of chicken manure, back into the cycle, in addition to increasing the amount of gas, can minimize the time it takes to start to produce gas and help to produce gas continuously. Moreover, the water used for digestion will also be significantly reduced (at least 50%).

Keywords: Anaerobic digestion, Batch reactor, Co-digestion, Renewable energy

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۱۲، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، ص ۱۵۷-۱۴۷

بررسی هضم مشترک کود مرغی با روده مرغ و محتویات آن و محتویات شکمبه گاوی

آیسودا میرزایی[۱]، محسن سلیمانی[۲*]، هوشنگ بهرامی[۳]، مجتبی نوروزی مصیر[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۶

چکیده

هدف از این مطالعه، آزمون هضم مشترک کود مرغی با محتویات شکمبه گاوی و روده مرغ و محتویات آن، در هاضم‌های بی‌هوازی ناپیوسته، به هدف افزایش تولید زیست گاز و همچنین مطالعه اثر برگرداندن لجن حاصله به چرخه تولید، بر مقدار تولید زیست‌گاز و کاهش مدت زمان انتظار برای تولید گاز بود. آزمایش در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول اثرات هضم مشترک کود مرغی با محتویات شکمبه گاوی و روده مرغ و محتویات آن، هرکدام در سه سطح (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی کود مرغی) مورد بررسی قرار گرفت و در مرحله دوم، پس از رسیدن همه تیمارها به پایان زمان ماند هیدرولیکی، قسمت مایع لجن حاصل از تیمارهای مرحله اول، به هاضم‌های مرحله دوم آزمایش وارد شد. در این مرحله نیز سه تیمار (تیمار شاهد (تامین کل آب مورد نیاز با آب خالص)، تامین ۵۰ و ۱۰۰ درصد از آب مورد نیاز توسط مایع لجن) آزمون شدند. با توجه به نتایج، هضم مشترک محتویات شکمبه گاوی با کود مرغی اثر معنی‌داری بر میزان افزایش تولید زیست‌گاز نداشت اما هضم مشترک روده مرغ و محتویات آن با کود مرغی (حداقل به میزان ۱۰ درصد وزنی) اثر معنی‌داری بر افزایش تولید زیست‌گاز داشته و می‌تواند میزان گاز حاصله را حداقل به میزان دو برابر افزایش دهد. تیمار (کود مرغی +۲۰٪ روده مرغ و محتویات آن) بیشترین مقدار تولید زیست‌گاز را به میزان تقریبی $305\ ml.grVS^{-1}$ نتیجه داد. اثر برگرداندن لجن حاصله به چرخه هضم، هم بر مقدار تولید گاز و هم بر روی مدت زمان انتظار برای تولید گاز، در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود؛ اما تفاوت معنی داری بین دو تیمارِ تامین ۵۰ درصدی و ۱۰۰ درصدی آب مورد نیاز توسط آب لجنی از لحاظ تسریع در شروع تولید گاز و همچنین میزان گاز تولید شده دیده نشد. بنابراین استفاده از آب لجنی برای تامین حداقل ۵۰ درصد از آب مورد نیاز هضم، علاوه بر افزایش میزان گاز تولیدی و کم کردن مدت زمان انتظار برای شروع تولید گاز، مصرف آب را نیز حداقل به میزان ۵۰ درصد کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: انرژی تجدیدپذیر، هضم بی‌هوازی، هضم ترکیبی، هاضم ناپیوسته

مقدمه

صنعت دام و طیور در دنیا، صنعتی بسیار پویا است. با توجه به نرخ رشد جمعیت، رشد درآمد و فناوری، تقاضا در جوامع توسعه یافته تقریباً ثابت است. سامانه‌های تولیدی در این کشورها به کارایی تولید و پایداری زیست محیطی متمرکز شده‌اند. اما این صنعت در کشورهای درحال توسعه، در پاسخ به تقاضای فزاینده در حال رشد است (Thornton, 2010). در سال ۱۳۹۶ در ایران از مجموع ۷۶۵,۲۱۱,۹۶۸ قطعه مرغ، ۲۲۳۷ هزار تن گوشت مرغ تولید شده است (Anonymous, 2018). آنچه مسلم است تولید بیشتر ماکیان، پسماندهای این صنعت را نیز افزایش می‌دهد. با توجه به نرخ تولید کود مرغی (۴۱ تن به ازای هر ۱۰۰۰ قطعه مرغ (Anonymous, 2010)) سالانه بیش از ۴۲ میلیون تن کود مرغی در کشور تولید می شود که منبعی بسیار غنی برای تولید زیست‌گاز محسوب می‌شود. رهاسازی پسماندهای دامی در طبیعت بدون توجه به مدیریت صحیح در دفع آن، منجر به آلودگی‌هایی از جمله انتشار گاز آمونیاک (Nicholson *et al.*, 2004)، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی با ترکیبات نیتروژن و فسفر (Greenwood, 1990; USDA, 1991) و نشر بو و عوامل بیماری‌زا می‌گردد. حدود ۱۸

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۴- استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.soleymani@scu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v12i2.82016

درصد از گازهای گلخانه‌ای انتشاریافته در ایران از صنایع دامی نشات می‌گیرد (Roshani *et al.*, 2012). با هضم بی‌هوازی پسماندهای دامی، علاوه بر حذف مضرات یاد شده، یک حامل پاک و تجدیدپذیر انرژی به اسم زیست‌گاز[1] تولید می‌شود. به علاوه لجن حاصله نیز کود سالم‌تر و مغذی‌تری برای استفاده در بخش کشاورزی می‌باشد (Roshani *et al.*, 2012). یکی از چالش‌های صنعت زیست‌گاز، افزایش بازده تولید گاز می‌باشد. برای بالا بردن بازدهی هضم بی‌هوازی کود و افزایش تولید زیست‌گاز روش‌های مختلفی پیشنهاد می شود که می توان به تغییر در پارامترهای عملیاتی مانند دما، مدت‌زمان هیدرولیکی (HRT) و اندازه ذرات بستر، استفاده از افزودنی ها، بازگشت مقداری از لجن حاصله به فرآیند هضم بی هوازی و استفاده از بیوفیلترها اشاره کرد (Yadvika *et al.*, 2004).

اکثر مطالعات گذشته به دنبال تعیین مقادیر بهینه پارامترهای عملیاتی بوده‌اند و تقریباً محدوده بهینه این مقادیر، پیدا شده است. بنابراین در این مطالعه، در راستای افزایش تولید زیست‌گاز از کود مرغی، دو روش هضم مشترک با مواد آلی، و برگرداندن مقداری از لجن به چرخه هضم، آزمون شدند. به دلیل ترکیب قلیایی کود مرغی و محتوی بالای آمونیاک آن (Callaghan *et al.*, 2002)، هضم آن به تنهایی دشوار است و افزودن مواد آلی با کربن بالا، بازده هضم را بهبود می‌بخشد. با افزودن مواد مختلف و قرار گرفتن مواد مغذی در دسترس ریزاندام‌های بی‌هوازی گوناگون، فعالیت این باکتری‌ها افزایش یافته و بازده هضم و تولید زیست‌گاز افزایش می‌یابد (Roshani *et al.*, 2012). مطالعات زیادی بر روی هضم همزمان کود و ضایعات کشاورزی انجام شده است. با این حال انتخاب ماده مشترک هضم، به دسترس بودن و ارزان بودن آن و هزینه‌های مرتبط با جمع‌آوری و حمل و نقل آن وابسته است (Frigon and Guiot, 2010; Li *et al.*, 2011). اگر فرض بر این باشد که کشتارگاه طیور نیز در مجموعه مرغداری وجود داشته باشد، بنابراین روده مرغ و محتویات آن، با کمترین هزینه در دسترس خواهد بود. همچنین محتویات شکمبه گاوی نیز با کمترین هزینه از کشتارگاه‌های دام قابل تهیه است. بنابراین در این مطالعه اثر هضم مشترک این دو مورد با کود مرغی بر افزایش بازدهی هضم بی‌هوازی مورد مطالعه قرار گرفت.

در اضافه کردن ساقه ذرت به کود مرغی توسط (Li *et al.*, 2013)، در ترکیب نسبتی سه به یک و یک به یک (ساقه ذرت به کود مرغی، بر پایه VS) اثرات مثبت هم‌افزایی مشاهده شد که به‌ترتیب منجر به تولید ۲۱۸/۸ میلی‌لیتر متان به ازای هر گرم مواد فرار اضافه شده و ۱۴/۲ لیتر متان به ازای هر لیتر حجم هاضم گردید. هضم همزمان بی‌هوازی کود مرغی و ساقه ذرت در راکتورهای پیوسته و ناپیوسته[2] توسط (Li *et al.*, 2014) مطالعه شد. آزمون‌های همزمان راکتورهای ناپیوسته در غلظت‌های مواد جامد فرار (VS) اولیه $grVS.L^{-1}$، نسبت کربن به نیتروژن برابر با ۲۰ و زمان ماند ۳۰ روزه انجام گرفتند. عملکرد متان، $12±281\ mL.grVS^{-1}$ به‌دست آمد. راکتورهای پیوسته با غلظت تغذیه ۱۲ درصد از کل مواد جامد و نسبت کربن به نیتروژن برابر با ۲۰ در نرخ‌های بارگذاری مواد آلی (OLRs) برابر با $grVS.L^{-1}.d^{-1}$ ۱–۴ به‌کار گرفته شدند. نتایج نشان دادند که در نرخ بارگذاری مواد آلی برابر با $grVS.L^{-1}.d^{-1}$ ۴، عملکرد پایدار و مطلوب $mL.grVS^{-1}$ ۲۲۳±۷ به‌دست می‌آید که از نظر عملکرد انرژی برابر با $MJ.kgVS^{-1}$ ۸±۳ می‌باشد. هضم مجدد لجن حاصله نیز $MJ.kgVS^{-1}$ ۶/۲ –۵/۱ عملکرد انرژی اضافی حاصل می‌کند. در مطالعه (Callaghan *et al.*, 2002) تاثیر هضم مشترک کود مرغی با لجن کود گاوی به اندازه هضم مشترک پسماند میوه و سبزی در افزایش تولید متان در هضم بی‌هوازی موفق نبود. با افزایش مقدار کود مرغی و افزایش نرخ بارگذاری مواد آلی، مقدار متان تولیدی کاهش می‌یافت. ظاهراً دلیل این امر غلظت آمونیاک آزاد در محیط هضم بود. هضم همزمان پسماندهای کشاورزی و کودهای دامی، می‌تواند منجر به تعادل مواد مغذی شده و عملکرد ویژه متان را افزایش دهد (Li *et al.*, 2014). هضم همزمان کود مرغی و گاوی در نسبت‌های ۰، ۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد کود مرغی توسط (Altinbas and Cicek, 2019) مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به نتایج، بیشترین پتانسیل تولید متان به ازای هر کیلوگرم VS اضافه شده، به‌ترتیب ۱۴۴، ۲۰۱، ۲۱۷ و ۲۵۶ لیتر به‌دست آمد. با رسیدن غلظت نیتروژن کل به مقدار بیشینه (به مقدار $۶۵۲mgNH_3\text{-}N.L^{-1}$)، افزایش مقدار pH از تولید گاز ممانعت به عمل می‌آورد. در این مطالعه نشان داده شد که محتویات شکمبه گاوی، به تنهایی می‌توانند همبستر[3] مناسبی برای کود مرغی در هضم بی‌هوازی باشد. در مطالعه (Song *et al.*, 2019)، هضم همزمان (ترکیبی) کود مرغی و کود گوسفندی، با افزایش ظرفیت بافری، در نسبت کود مرغی به کود گوسفندی برابر با ۲/۵، بالاترین عملکرد تولید متان ($۳۱۰mlCH4.grVS^{-1}$) را نتیجه داد و این عملکرد در زمانی سریع‌تر (به میزان ۳۸/۴ درصد) حاصل شد (Song *et al.*, 2019).

به‌کارگیری مجدد شیره (فاضلاب هضم)، جهت راه‌اندازی هضم بی‌هوازی مواد خام زیست‌توده‌ای، فناوری نسبتاً جدیدی است که برای افزایش مقدار گاز تولیدی به‌کار گرفته می‌شود. از دیگر مزایای این روش می‌توان به افزایش کیفیت لجن حاصله، کاهش هزینه هضم، کاهش هزینه مدیریت دفع لجن و کاهش مقدار آب مصرفی اشاره کرد (Chan *et al.*, 2002). در مطالعه (Chan *et al.*, 2002)،

1- Biogas

2- Batch

3- Co-substrate

به‌کارگیری مجدد لجن باعث کاهش زمان پایداری ضایعات شهری شده و در افزایش مقدار گاز تولیدی و بهبود کیفیت لجن مخصوصاً از نظر شاخص COD، موثر بوده است.

در این مطالعه اثر هضم مشترک مواد آلی با کود مرغی و همچنین برگرداندن لجن حاصله به چرخه تولید، در روش هضم بی‌هوازی ناپیوسته برای افزایش بازدهی تولید زیست‌گاز آزمون گردید. بنابراین از یافته‌های مطالعات قبلی برای تعیین بهترین شرایط پارامترهای موثر بهره‌گیری خواهد شد. یادویکا و همکاران (Yadvika *et al.*, 2004)، برای افزایش تولید زیست‌گاز، سه نوع افزودنی شامل: زیست‌توده سبز، سویه‌های میکروبی و افزودنی معدنی را پیشنهاد کرده‌اند. ازآنجا که هدف از تولید زیست گاز، احداث راکتور در محل مرغداری و فراهم کردن کل یا بخشی از انرژی مورد نیاز واحد مرغداری است، بنابراین سعی بر این است که از موادی به‌عنوان خوراک مشترک هضم استفاده شود که بتوان بدون کمترین مشکلی در همان محل مرغداری به آن دسترسی پیدا کرد. بنابراین در این مطالعه اثرات ترکیب محتویات شکمبه گاوی یا روده مرغ و محتویات آن با کود مرغی، بر میزان تولید زیست‌گاز، همچنین اثر بازگرداندن مایع لجن حاصل از هضم بی‌هوازی به چرخه تولید گاز، بر روی کاهش مدت زمان انتظار برای تولید گاز مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی مواد اولیه

ماده اصلی و خوراک هضم در این مطالعه کود مرغی می‌باشد. از آنجا که این مطالعه به دنبال آزمون اثر ترکیب محتویات شکمبه گاوی یا روده مرغ و محتویات آن با کود مرغی، به‌عنوان تأمین‌کننده باکتری‌های متان‌ساز[1] و همچنین تسریع‌کننده واکنش بود، بنابراین این مواد آلی نیز (که نوع و میزان آن بسته به نوع تیمار، متفاوت بود) جزئی از مواد اولیه آزمایش می‌باشند. درصد مواد جامد (TS[2]) و درصد مواد فرار (VS[3]) مواد ورودی با توجه به پروتکل پیشنهادی آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (US EPA[4]) (Telliard, 2001) به‌دست آمد. پس از ترکیب کود مرغی و مواد آلی (بسته به نوع تیمار: محتویات شکمبه گاوی یا روده مرغ و محتویات آن، یا کود مرغی خالص)، ۵۰ درصد حجمی واحدهای هضم به نحوی پر شد (با اضافه کردن آب خالص، بسته به نوع تیمار) که غلظت مواد داخل هاضم‌ها، بر اساس توصیه چودوری و همکاران (Chowdhry *et al.*, 1994) به میزان هشت درصد برسد.

1- Methanogens
2- Total Solid
3- Volatile Solid
4- United States Environmental Protection Agency

تنظیم pH مواد ورودی

هدف این بود که pH همه نمونه‌ها در محدوده بازی ۶/۸-۷/۲ قرار گیرد. برای تنظیم pH در این محدوده از روش تجربی تنظیم اسید و باز استفاده شد. بنابراین این روش بر روی ۱۰۰ میلی‌لیتر از مواد (زیست‌توده نهایی) انجام گرفت. سپس از نسبت به‌دست‌آمده (جدول ۱) برای تعیین حجم محلول قلیایی سه مولار سود (هیدروکسید سدیم، NaOH) موردنیاز برای تنظیم pH مواد استفاده شد. قبل از شروع کار، وسایل آزمایشگاهی و دستگاه pHمتر، شستشو داده شد و دستگاه pHمتر کالیبره شدند. جهت رسیدن به pH دلخواه، محلول سود به‌وسیله پیپت مدرج به آرامی و هم‌زمان با همزنی زیست‌توده توسط همزن مغناطیسی، به محلول زیست‌توده اضافه شد. این کار تا نمایش مقدار pH مورد نظر، روی دستگاه pHمتر ادامه یافت. نسبت محلول سود برای رسیدن به مقادیر pH موردنظر در جدول ۱ آورده شده است. پس از به‌دست آمدن نسبت مناسب محلول سود با زیست‌توده، از همین نسبت درون واحدهای هضم استفاده شد. جهت اطمینان و پس از اضافه کردن سود و پس از همزنی کافی واحدهای هاضم، دوباره مقدار pH نهایی درون هاضم‌ها اندازه‌گیری شدند.

هاضم‌ها و کنترل پارامترهای موثر بر هضم

در این آزمایش از بطری‌های پلی‌اتیلن به‌عنوان واحد هضم استفاده شد (شکل ۱، الف). مزیت اصلی بطری‌های پلی‌اتیلن انعطاف‌پذیری بدنه آن‌ها می‌باشد که امکان بی‌هوازی کردن واحدها به‌صورت دستی و با فشردن بدنه و خروج هوا از درون واحد، وجود دارد. عیب آنان نیز در عدم امکان دقیق اندازه‌گیری حجم زیست‌گاز تولیدی است. برای اندازه‌گیری مقدار زیست‌گاز تولیدی باید در هر مرتبه اندازه‌گیری، بطری را فشرده ساخت تا تمام حجم گاز تولیدی از بطری خارج شده و وارد مجرای سامانه اندازه‌گیری گاز گردد. فشرده‌سازی بطری می‌تواند آب‌بندی درزها را مختل سازد. جهت خروج گاز تولید شده و همچنین امکان نمونه‌برداری از درون هاضم‌ها دو شیر (شیرهای قطع و وصل جریان گاز و شیر مجرای نمونه‌برداری) بر روی درب بطری‌ها تعبیه شد (شکل ۱، ب). طول لوله نمونه‌برداری بلندتر از لوله عبور گاز در نظر گرفته شد تا از قرارگیری لوله در درون مواد داخل هاضم اطمینان حاصل شود و همچنین در زمان نمونه‌برداری، گاز تولید شده نشت نیابد. با آزمون نشت‌یابی بر روی اتصالات شیرها، از عدم نشت گاز اطمینان حاصل شد.

برای این‌که دمای هاضم‌های مربوط به تکرارهای تیمارهای مشابه ثابت بماند، این هاضم‌ها درون یک حمام آب گرم قرار گرفتند و جهت تامین گرمای حمام از گرمکن برقی میله‌ای ۷۰۰ وات،

مستقیماً برای هر یک از حمام‌ها استفاده شد. به‌منظور ایجاد جریان همرفتی مناسب، گرم‌کن‌ها در نزدیکی کف حمام‌ها قرار گرفتند. حجم حمام به گونه‌ای انتخاب شد که فضای کافی برای هاضم‌ها و اتصالات آن‌ها، گرمکن و جریان گرما وجود داشته باشد. جهت کنترل دمای حمام آب گرم، از ترموستات ۹۰-۳۰ تک بان یخچالی- آبگرمکنی عقربه‌ای با دقت کافی (۰/۵ درجه سلسیوس خطا در مخازن هاضم) و متناسب با فاصله مقادیر شاخص دما استفاده گردید. به‌منظور پاسخ‌دهی سریع‌تر ترموستات، حسگر آن در نزدیک‌ترین محل ممکن به گرمکن قرار گرفت. تنظیم و کالیبراسیون ترموستات با توجه به دمای درون مخزن انجام گردید. این آزمون‌ها نشان دادند که به دلیل تأخیر در زمان انتقال گرما، خطای عملی ترموستات بر تغییرات دمای درون مخازن تأثیر اندکی دارد. چگونگی قرارگیری هاضم‌ها درون حمام آب گرم و همچنین نحوه قرارگیری گرمکن و ترموستات درون مخازن در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- مقدار محلول سود برای رساندن pH ۱۰۰ گرم زیست‌توده با مقادیر pH اولیه متفاوت به محدوده ۶/۸-۷/۲

Table 1- The amount of caustic soda needs to change the pH of biomass solution from different initial values to the range of 6.8-7.2

مقدار pH اولیه The initial pH	6.3	5.4	5.9	6.1
مقدار سود مورد نیاز در ۱۰۰ گرم زیست‌توده (ml) The amount of required caustic soda for 100 gr biomass	2.1	4.78	3.33	2.66



(b) (a)

شکل ۱- الف) هاضم‌های مورد استفاده و ب) تعبیه دو شیر در سر هاضم برای خروج گاز و نمونه‌برداری

Fig. 1. a) Reactors used in this study and b) Two sampler valves placed on the reactor cap



(b) (a)

شکل ۲- الف) چگونگی قرارگیری هاضم‌ها درون استخر آب گرم و ب) نحوه قرارگیری گرمکن و ترموستات درون استخر آب گرم

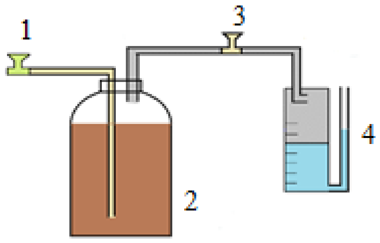
Fig. 2. Position of a) reactors and b) heaters and thermostats inside the hot water bath

برخی مواقع، تولید زیست‌گاز در برخی از واحدها متوقف، یا بسیار کاهش می‌یابد، معمولاً این اتفاق ناشی از کاهش شدید pH می‌باشد.

به همین دلیل وجود یک مسیر نمونه‌برداری از مواد درون هر واحد الزامی است. در هاضم مورد استفاده، برای هر واحد یک مسیر نمونه‌برداری دارای شیر قطع و وصل در نظر گرفته شد (شکل ۱). مقدار pH، هر شش روز یک‌بار از نمونه‌های خارج‌شده از واحدها، اندازه گرفته و ثبت شد. همه واحدهای هضم روزی یک بار به‌صورت دستی به‌هم زده می‌شدند.

اندازه‌گیری مقدار زیست‌گاز

جهت ایجاد سامانه اندازه‌گیری حجم گاز تولیدی در هاضم مورد نظر، از یک مخزن با ظرفیت ۱۰۰۰ میلی‌لیتر استفاده شد. لوله خروجی از هاضم به درون این مخزن وارد می‌شد. با افزایش فشار ناشی از تولید گاز، آب از مخزن مدرج به لوله خروجی رانده می‌شد و به درون سرنگ مدرج ریخته می‌شد (شکل ۳). مقدار آب جابه‌جا شده، شاخصی حجمی از مقدار گاز تولیدی را در اختیار قرار می‌داد. مقدار جابه‌جایی آب از روی ستون مدرج، به‌صورت روزانه ثبت شد. در حالت کلی اتصال بین شیر قطع و وصل گاز و سامانه اندازه‌گیری، برقرار بود اما پس از اندازه‌گیری شاخص حجم، این اتصال قطع می‌شد تا با تخلیه گاز از سامانه اندازه‌گیری، فشار درون سامانه به حالت عادی برگردد و آب خارج‌شده از سامانه، با استفاده از سرنگ، جایگزین گردد و همچنین عملیات همزنی دستی واحدها انجام شود. به‌منظور عدم وجود نشتی در محل اتصال و قطع اتصال، از یک شلنگ فشاری خشک در مقابل یک شلنگ فشاری نرم استفاده شد. تست‌های نشت‌یابی در فشار بالا نشان داد این اتصال هیچ‌گونه نشتی ندارد.



شکل ۳- چگونگی اندازه‌گیری مقدار زیست‌گاز (۱: شیر و لوله نمونه‌برداری، ۲: راکتور، ۳: شیر قطع‌کننده جریان گاز و ۴: لوله یو شکل مدرج)

Fig. 3. Measuring system of the amount of produced biogas (1: Sampling valve and tube, 2: Reactor, 3: Shut-off valve and 4: A U-shaped tube)

طرح آزمایشی و تعداد هاضم‌ها

تعداد هاضم‌ها بر اساس طرح کاملاً تصادفی، ۲۱ واحد (۷ تیمار شامل هضم مشترک کود مرغی با محتویات شکمبه گاوی در سه سطح، با روده مرغ و محتویات آن در سه سطح و تیمار شاهد) هر کدام در سه تکرار انتخاب شد. متغیرهای مستقل مورد آزمون در این طرح، میزان محتویات شکمبه گاوی و روده مرغ و محتویات آن، در ترکیب با کود مرغی، و متغیر وابسته، میزان تولید زیست‌گاز از کود مرغی بودند. در کل زمان آزمایش، pH در محدوده ۶/۸-۷/۲ (بازی) (Yadvika *et al.*, 2004) و دما در محدوده ۳۵-۴۰ درجه سلسیوس (دمای محدوده مزوفیلیک) ثابت نگه‌داشته شد. بعد از آماده شدن هاضم‌ها، در حمام آب گرم قرار داده شدند.

ابتدا همه ترکیبات زیست‌توده‌ای با استفاده از آسیاب خانگی به قطعات کمتر از دو میلی‌لیتر خرد شدند. سپس با توجه به ترکیب تیماری مورد نظر، کود مرغی با محتویات شکمبه گاو و یا روده مرغ و محتویات آن، ترکیب شده زیست‌توده حاصله با غلظت مناسب (حدود ۸ درصد) درون راکتورها ریخته شد. به نحوی که تا حجم۵۰ درصد از هر بطری را زیست‌توده و مابقی را فضای خالی جهت تولید گاز اشغال می‌کرد. درون هر بطری، به‌صورت دستی و با خروج هوا از طریق فشردن بطری‌ها، به‌صورت بی‌هوازی درآمد. سپس همه بطری‌ها (هر شش بطری در درون یک حمام) در دمای ۳۵-۴۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند. بطری‌ها هر روز به‌صورت دستی به هم زده شدند.

در مرحله دوم آزمایش، پس از رسیدن همه تیمارها به پایان زمان ماند هیدرولیکی (زمانی که دیگر گازی تولید نشد) لجن حاصله از صافی گذرانده شد و قسمت مایع دوباره به هاضم برگردانده شد. بدین ترتیب از آنجا که میکروب‌های فعال در لجن، به چرخه تولید بازگردانده می‌شوند، جمعیت میکروبی اضافه‌ای فراهم‌شده و همچنین به دلیل بازگشت آب لجن، در مصرف آب نیز صرفه‌جویی می‌گردد (Yadvika *et al.*, 2004). جهت تامین لجن مورد نیاز همه تیمارهای مرحله دوم، لجن در این جا نیز سه تیمار (تامین ۵۰ درصد از آب مورد نیاز توسط مایع لجن، تامین ۱۰۰ درصد از آب مورد نیاز توسط مایع لجن و تیمار شاهد (بدون مایع لجنی) آزمون شدند. این تیمارها بر روی کود مرغی پایه (مشابه تیمار شاهد در مرحله اول آزمایش) انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج آزمایش اول

مرحله اول آزمایش به مدت ۴۳ روز طول کشید یعنی عملیات آزمایش زمانی متوقف شد که میزان تولید زیست‌گاز، نسبت به روزهای قبل به حداقل مقدار خود رسید. نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین شاخص زیست‌گاز تولیدی در مرحله اول آزمایش در جدول ۲ و شکل ۴ آمده است. نتایج تجزیه این بررسی نشان می‌دهد که تیمارهای مورد مطالعه، در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر روی تولید زیست‌گاز دارند.

جدول ۲- تجزیه واریانس تیمارهای مورد بررسی بر میزان تولید زیست‌گاز

Table 2- Analysis of variance of the effect of the studied treatments on the amount of biogas production

منابع تغییرات **S.O.V**	درجه آزادی **d.f**	میانگین مربعات **Mean squares**
تیمار Treatment	5	21106**
خطا Error	12	4151
ضریب تغییرات Coefficient of variation	17	

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

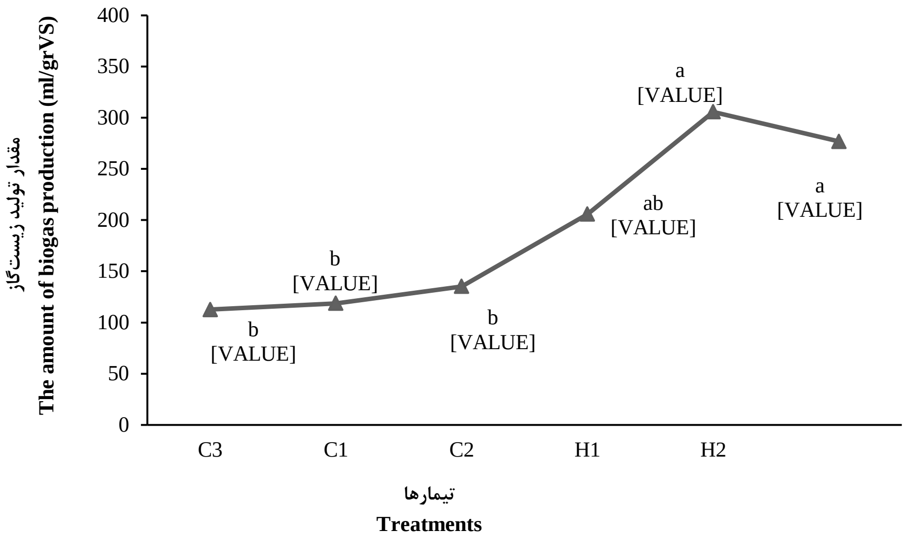
**significant at $p<0.01$

نتایج جدول ۲ و شکل ۴ نشان می‌دهد با آن که نوع ماده آلی مشترک، تاثیر معنی‌داری بر میزان تولید زیست‌گاز دارد، اما میزان درصد ماده آلی مشترک تاثیر معنی‌داری بر میزان تولید زیست‌گاز ندارد. تیمار (کود +۲۰٪ روده مرغ و محتویات آن) بیشترین میزان تولید زیست‌گاز را نتیجه داده است (میزان تقریبی $۳۰۵ml.grVS^{-1}$). همچنین تیمار (کود +۳۰٪ روده مرغ و محتویات آن) و تیمار (کود +۱۰٪ روده مرغ و محتویات آن)، به‌ترتیب به میزان تقریبی $۲۷۶ml.grVS^{-1}$ و $۲۰۶\ ml.grVS^{-1}$ در رتبه دوم و سوم بیشترین میزان تولید زیست‌گاز قرار گرفته‌اند. ناگفته نماند که میزان تولید زیست‌گاز این دو تیمار نسبت به تیمار قبلی اختلاف معنی‌داری ندارد. بنابراین در زمان‌هایی که دسترسی به امعا و احشای شکم مرغ با محدودیت مواجه است، اضافه کردن تنها ۱۰ درصد روده مرغ و محتویات آن به کود خام، جهت تولید زیست‌گاز کافی است و بیش از آن، از آنجا که منجر به افزایش معنی‌دار تولید زیست‌گاز نمی‌گردد، الزامی ندارد. همچنین کمترین میانگین تولید زیست‌گاز مربوط به تیمار کود +۱۰٪ محتویات شکمبه گاو بود (تقریباً $۱۱۸ml.grVS^{-1}$). هرچند که اختلاف آن با تیمارهای (کود +۳۰٪ محتویات شکمبه گاو، $۱۱۲\ ml.grVS^{-1}$) و (کود +۲۰٪ محتویات شکمبه گاو، $ml.grVS^{-1}$ ۱۳۵) از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. با توجه به این نتایج، استفاده از ترکیب کود و روده مرغ و محتویات آن در سطح‌های مختلف جهت تولید زیست‌گاز نسبت به ترکیب کود و محتویات شکمبه گاو اثر مثبت بیشتری داشته است. در مطالعه بودیونو و همکاران (Budiyono *et al.*, 2014) که از محتویات شکمبه گاوی به‌عنوان تلقیح‌کننده هضم بی‌هوازی کود گاوی استفاده شد، بازده تولید گاز تا دو برابر افزایش یافت. با توجه به مطالعه مروری کاینتولا و همکاران (Kainthola *et al.*, 2019)، انتخاب ماده تلقیح نه تنها به دلیل فراهم آوردن عناصر کم مقدار، محتوی رطوبتی، مواد مغذی (میکرو و ماکرو) بلکه به دلیل فراهم‌آوری خاصیت بافری در سیستم از اهمیت برخوردار است. عموماً پساب حاصل از هضم بی‌هوازی در نقش تلقیح‌کننده بهتر از موادی مانند محتویات شکمبه عمل می‌کند (Kainthola *et al.*, 2019). هم‌افزایی محتویات شکمبه گاوی و کود گاوی در مطالعه بودیونو و همکاران (Budiyono *et al.*, 2014)، در تولید گاز و محتویات روده مرغی و کود مرغی در مطالعه حاضر نشان‌دهنده وجود باکتری‌های متان‌زای ویژه هضم کود مرغی در روده مرغی می‌باشد. از طرفی افزایش میزان اسیدهای چرب فرار موجود در بافت روده نیز عامل مهم دیگری در افزایش مقدار گاز تولیدی در تیمارهای روده مرغ و محتویات آن است (Kainthola *et al.*, 2019).

برای این که اثر مواد آلی مورد آزمون در هضم مشترک با کود مرغی، بر مقدار تولید زیست‌گاز آزمون شود، مقایسه‌ای به روش آزمون دانت بین تیمار شاهد و تیمارهای دیگر انجام شد که نتایج آن در جدول ۳ آمده است. با توجه به این جدول هرچند که افزودن مواد آلی به کود مرغی باعث افزایش میزان تولید زیست‌گاز گردیده است اما میانگین تولید زیست‌گاز، تنها بین دو تیمار ۲۰ درصد و ۳۰ درصدی روده مرغ و محتویات آن، و تیمار شاهد معنی‌دار است. به بیان دیگر، در ۴ تیمار دیگر، هضم مشترک با مواد آلی، از نظر آماری منجر به افزایش تولید زیست‌گاز نشده است.

نتایج آزمایش مرحله دوم

آزمایش دوم در سه تیمار و چهار تکرار مورد بررسی قـرار گرفـت. داده‌های دو تکرار از تیمار شاهد و یـک تکـرار از دو تیمـار دیگـر بـه دلایل نوسانات شدید (احتمالاً به دلیل وجـود نشـتی در هاضـم‌هـا) از محاسبات خارج شدند.



شکل ٤- مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی بر میزان تولید کل زیست‌گاز در آزمایش اول (C_1، C_2 و C_3 به‌ترتیب، کود مرغی به‌علاوه ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد محتویات شکمبه گاو و H_1، H_2 و H_3 به‌ترتیب، کود مرغی به‌علاوه ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد روده مرغ و محتویات آن)

Fig. 4. Comparison of the mean amount of biogas production under the studied treatments (Duncan's test) (C_1, C_2 and C_3, stands for chicken manure + 10, 20 and 30 percent cow rumen fluid, respectively, and H_1, H_2 and H_3, stands for chicken manure + 10, 20 and 30 percent chicken intestines, respectively)

جدول ۳- نتایج آزمون دانت در مقایسه بین تیمار شاهد و بقیه تیمارها بر میزان تولید زیست‌گاز در آزمایش اول

Table 3- Dunnett's test results comparing the mean amount of biogas production in the control treatment with and other treatments

متغیر وابسته **Dependent variable**	تیمارها **Treatments**	اختلاف میانگین با تیمار شاهد **Mean difference with control treatment**	**p-value**
شاخص تولید زیست‌گاز Biogas production index	کود +۱۰٪ محتویات شکمبه گاو Chicken Manure +10% Cow Rumen fluid	22.59^{ns}	0.994
	کود +۲۰٪ محتویات شکمبه گاو Chicken Manure +20% Cow Rumen fluid	39.19^{ns}	0.921
	کود +۳۰٪ محتویات شکمبه گاو Chicken Manure +30% Cow Rumen fluid	16.42^{ns}	0.999
	کود +۱۰٪ روده مرغ و محتویات آن Chicken Manure +10% Chicken intestines	109.6^{ns}	0.175
	کود +۲۰٪ روده مرغ و محتویات آن Chicken Manure +20% Chicken intestines	209.5^{**}	0.004
	کود +۳۰٪ روده مرغ و محتویات آن Chicken Manure +30% Chicken intestines	180.6^{*}	0.013

^{ns} غیر معنی‌دار، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

^{ns} not significant, **significant at p<0.01

بنابراین طرح آزمایشی به یک طرح کاملاً تصادفی بـا تکرارهـای نامساوی تبدیل شد. این مرحله به مـدت ۴۰ روز طـول کشـید یعنـی زمانی که میزان تولید زیست‌گاز به حداقل مقدار خود رسـید، آزمـایش متوقف شد. نتایج تجزیه واریانس میزان زیست‌گـاز حاصـل از مرحلـه دوم آزمایش، در جدول ۳ آمده است. با توجه به جدول ۳، اثر تیمارهـا بر روی میزان تولید زیست‌گاز در سطح ۵ درصـد معنـی‌دار اسـت. بـا

توجه به آزمون مقایسه میانگین دانکن، بین تیمار شاهد و دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌دار وجود دارد اما اختلاف معنی‌داری از نظر آماری بین دو تیمار تامین ۵۰ درصد و صد درصد از آب مورد نیاز توسط مایع لجن، وجود ندارد (جدول ۵). برگرداندن مایع لجنی به چرخه تولید به دلیل شروع فعالیت باکتری‌های متان‌زا (Budiyono *et al.*, 2014) از همان ابتدا و بالتبع در مدت زمان بیشتر، باعث افزایش بازده تولید گاز و هضم تا حد ممکن مواد قابل هضم می‌گردد.

جدول ٤- تجزیه واریانس تیمارهای مرحله دوم بر میزان تولید زیست‌گاز

Table 4- Analysis of variance of the effect of the studied treatments in the second stage of the experiment on the amount of biogas production

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares
تیمار Treatment	2	60657**
خطا Error	5	5657

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

**significant at $p<0.01$

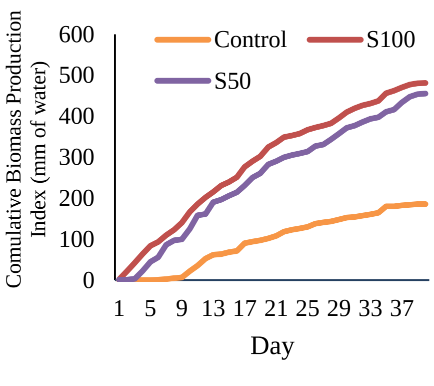
جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین تیمارها در آزمایش دوم به روش آزمون چند دامنه دانکن

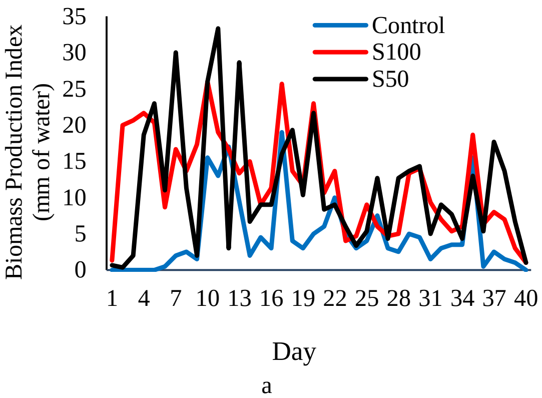
Table 5- Comparison of the mean amount of biogas production in different treatments of the second stage of the experiment (Duncn's test)

تیمارها Treatments	گروه اول First group	گروه دوم Second group
شاهد Control	185[c]	
S_{50}[a]		455
S_{100}[b]		481
p-value	1	0.708

a. مهیا کردن کل آب مورد نیاز از آب لجنی، b. مهیا کردن نصف آب مورد نیاز از آب لجنی و c. اختلاف بین میانگین‌های موجود در هر ستون، از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیست.

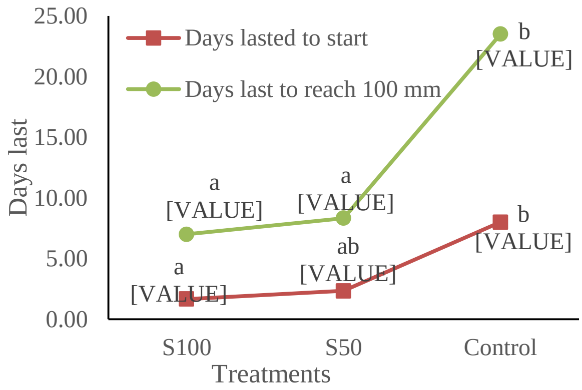
a. Providing 100% of required water from sludge liquid, b. Providing 50% of required water from sludge liquid, c. Means in the same column are not significantly different (P<0.05)





شکل ۵- روند تولید زیست‌گاز در سه تیمار مورد مطالعه در مرحله دوم (شاهد، تامین ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد از آب هاضم توسط لجن مرحله قبلی) (a: تولید روزانه و b: تولید تجمعی)

Fig. 5. The rate of biogas production in the second stage of the experiment (Control, S50: Providing 50% of required water from sludge liquid and S100: Providing 100% of required water from sludge liquid) (a: daily production and b: cumulative production)



شکل ٦- میانگین تیمارهای مورد بررسی در مرحله دوم (شاهد، تامین ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد از آب هاضم توسط لجن مرحله قبلی) از نظر مدت زمان انتظار برای تولید گاز و زمان رسیدن شاخص گاز تولیدی به ۱۰۰ میلی‌متر

Fig. 6. Mean of time lasted to start gas production and time consumed to receive gas production index to 100 mm of the treatments of the second stage experiment (Control, S50: Providing 50% of required water from sludge liquid and S100: Providing 100% of required water from sludge liquid)

هدف اصلی از برگرداندن لجن به چرخه تولید گاز، تسریع در شروع تولید گاز بود. به بیان دیگر به دلیل وجود میکروب‌های فعال بی‌هوازی موجود در لجن مدت زمان لازم برای شروع هضم بستر (سوبسترا) به حداقل ممکن می‌رسد. شکل ۵ روند تولید زیست‌گاز در سه تیمار مورد مطالعه در مرحله دوم را در طول دوره آزمایش نشان می‌دهد. چند نکته از این تصاویر به وضوح مشخص است: ۱. روند تولید تجمعی گاز همانند دیگر مطالعات (Budiyono *et al.*, 2014; Taghinazhad *et al.*, 2018) از تابع سیگمویدی تبعیت می‌کند. ۲. روند تولید گاز در طول دوره، به دلیل کاهش سوبسترای قابل هضم کاهش یافته است. ۳. مقدار تولید گاز در تیمار شاهد، تقریباً در کل بازه ۴۰ روزه از دو تیمار دیگر کمتر است و از همه مهم‌تر، ۴. زمان شروع تولید قابل‌توجه گاز در تیمار شاهد حتی تا ۹ روز دیرتر از دو تیمار دیگر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که برای تولید پیوسته گاز، برگرداندن لجن حاصله، می‌تواند نقش بسیار مهمی داشته باشد. مورد بعدی این است که با وجود کم شدن شیب نمودار تجمعی گاز تولیدی (نسبت به مرحله اول آزمایش)، اما هنوز تمایل به تولید گاز بیشتر وجود دارد. با توجه به مطالعه (Richard, 1996)، باکتری‌های بی‌هوازی یا نمی‌توانند و یا به کندی توان تجزیه لیگنین و برخی هیدروکربن‌های دیگر را دارند.

انتظار می‌رفت که با بازگرداندن لجن فعال به درون راکتورها، به دلیل وجود میکروارگانیزم‌های فعال در درون لجن، زمان انتظار برای شروع تولید زیست‌گاز کاهش یابد. به همین دلیل دو شاخص تعداد روزهای انتظار برای تولید زیست‌گاز و همچنین زمان لازم برای رسیدن شاخص تولید زیست‌گاز به ۱۰۰ میلی‌متر آب در تیمارها با هم مقایسه شد. میانگین هر سه تیمار در این شاخص‌ها در شکل ۶ به تصویر کشیده شده است. برگرداندن لجن حاصله از هضم بی‌هوازی کود مرغی، همان‌طور که در شکل ۶ نیز مشخص است باعث می‌شود که زمان انتظار برای تولید گاز حداقل به میزان شش روز کاهش یابد (در تیمار برگرداندن صد درصدی لجن حاصله). این قضیه به پیوستگی و تداوم تولید گاز و در دسترس بودن گاز تولید شده کافی در واحد صنعتی کمک می‌کند. اثر تیمارها بر مدت زمان رسیدن شاخص تجمعی گاز تولیدی به ۱۰۰ میلی‌متر هم در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود و تیمار برگرداندن ۱۰۰ درصدی لجن این مدت را به مدت را تقریباً ۱۷ روز (۶۵ درصد) و تیمار برگرداندن ۵۰ درصدی لجن به مدت تقریبی ۱۶ روز (۷۴ درصد) کاهش می‌دهد. هرچند اختلاف دو تیمار از نظر آماری معنی‌دار نیست. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، برگرداندن لجن حاصله علاوه بر کمک به تولید پیوسته زیست‌گاز، در صرفه‌جویی در میزان مصرفی نیز بسیار موثر است. استفاده از پساب هاضم (آب لجن) به‌عنوان تلقیح‌کننده، سیستم را پایدارتر می‌سازد، درصد ماده جامد بیشتری را فراهم می‌کند و جمعیت میکروبی فعالی (اسیدزا[1] و متان‌زا) که با مواد بستر (سابستریت) و محیط سازگارتر است را فراهم می‌کند (Kainthola *et al.*, 2019).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج مطالعه، هضم مشترک محتویات شکمبه گاوی به کود مرغی اثر معنی‌داری بر میزان افزایش زیست‌گاز حاصل از هضم بی‌هوازی کود مرغی نداشت اما هضم مشترک روده مرغ و محتویات آن و کود مرغی (حداقل به میزان ۲۰ درصد وزنی) می‌تواند

1- Acidogens

اثر معنی‌داری بر افزایش تولید مقدار زیست‌گاز داشته و می‌تواند میزان گاز حاصله را حداقل به میزان دو برابر افزایش دهد. برگرداندن لجن حاصله از هضم بی‌هوازی کود مرغی علاوه بر افزایش میزان گاز خروجی، می‌تواند زمان مورد نیاز برای تولید گاز را به حداقل ممکن برساند و به تولید پیوسته گاز کمک کند. علاوه بر این، بدین ترتیب در مصرف آب مورد نیاز برای هضم بی‌هوازی نیز به میزان قابل‌توجهی (حداقل به میزان ۵۰ درصد) صرفه‌جویی خواهد شد.

References

1. Altinbas, M., and O. A. Cicek. 2019. Anaerobic co-digestion of chicken and cattle manures: Free ammonia inhibition. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects 41: 1097-1109. doi:10.1080/15567036.2018.1539143.
2. Anonymous, 2010. Fertiliser Recommendations for Agricultural and Horticultural Crops (RB 209) (8^{th} Edn). The Stationery Office, Norwich
3. Anonymous, 2018. Agricultural Statistics in 2017, (Volume 2). (In Persian).
4. Budiyono, B., I. Nyoman Widiasa, S. Johari, and S. Sunarso. 2014. Increasing biogas production rate from cattle manure using rumen fluid as inoculums. International Journal of Science and Engineering (IJSE) 6: 31-38. doi:10.12777/ijse.6.1.31-38.
5. Callaghan, F. J., D. A. J. Wase, K. Thayanithy, and C. F. Forster. 2002. Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure. Biomass and Bioenergy 22: 71-77. doi:10.1016/S0961-9534(01)00057-5.
6. Chan, G. Y. S., L. M. Chu, and M. H. Wong. 2002. Effects of leachate recirculation on biogas production from landfill. Environmental Pollution 118: 393-399.
7. Chowdhry, S. D. R., S. K. Gupta, and S. K. Banergy. 1994. Evaluation of the potentiality of tree leaves for biogas production. Indian Forester 120 (8): 720-728.
8. Frigon, J-C., and S. R. Guiot. 2010. Biomethane production from starch and lignocellulosic crops: a comparative review. Biofuels, Bioproducts and Biorefining 4: 447-458. doi:10.1002/bbb.229.
9. Greenwood, D. J. 1990. Production or productivity: the nitrate problem. Annals of Applied Biology 117 (1): 209-231.
10. Kainthola, J., A. S. Kalamdhad, and V. V. Goud. 2019. A review on enhanced biogas production from anaerobic digestion of lignocellulosic biomass by different enhancement techniques. Process Biochemistry 84: 81-90 doi:10.1016/j.procbio.2019.05.023.
11. Li, Y., S. Y. Park, and J. Zhu. 2011. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15: 821-826. doi:10.1016/J.RSER.2010.07.042.
12. Li, Y., R. Zhang, C. Chen, G. Liu, Y. He, and X. Liu. 2013. Biogas production from co-digestion of corn stover and chicken manure under anaerobic wet, hemi-solid, and solid state conditions. Bioresource Technology 149: 406-412. doi:10.1016/j.biortech.2013.09.091.
13. Li, Y., R. Zhang, Y. He, C. Zhang, X. Liu, C. Chen, and G. Liu. 2014. Anaerobic co-digestion of chicken manure and corn stover in batch. Bioresource Technology 156: 342-347.
14. Nicholson, F. A., B. J. Chambers, and A. W. Walker. 2004. Ammonia emissions from broiler litter and laying hen manure management systems. Biosystems Engineering 89 (2): 175-185.
15. Richard, T. 1996. The effect of lignin on biodegradability. Cornell Composting Science and Technology.
16. Roshani, A., J. Shayegan, and A. Babaee. 2012. Methane production from anaerobic co-digestion of poultry manure. Journal of Environmental Studies 38: 83-88. (In Persian).
17. Song, L., D. Li, X. Cao, Y. Tang, R. Liu, Q. Niu, and Y. Y. Li. 2019. Optimizing biomethane production of mesophilic chicken manure and sheep manure digestion: Mono-digestion and co-digestion kinetic investigation, autofluorescence analysis and microbial community assessment. Journal of Environmental Management 237: 103-113. doi:10.1016/j.jenvman.2019.02.050.
18. Telliard, W. A. 2001. Method 1684: Total, fixed, and volatile solids in water, solids, and biosolids. US Environmental Protection Agency, Washington.
19. Taghinazhad, J., R. Abdi, and M. Adl. 2018. Modeling of biogas production process from cow manure with completely stirred tank reactor under semi continuously feeding. Journal of Agricultural Machinery 8: 159-169. (In Persian). doi: 10.22067/jam.v8i1.57758.
20. Thornton, P. K. 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 365 (1554): 2853-2867.
21. U. S. Department of Agriculture (USDA), 1991. “Nitrate Occurrence in US. Waters.” USDA. Washington, DC.
22. Yadvika, S., T. R. Sreekrishnan, S. Kohli, and V. Rana. 2004. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques- A review. Bioresource Technology 95: 1-10. doi:10.1016/j.biortech.2004.02.010.